

住宅建筑工程中静压预应力管桩施工技术应用

郭以撒

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南郑州 450000

DOI: 10.12238/ems.v7i11.16004

[摘要] 为有效应对住宅建筑对地基承载力、施工噪音、空间适配性的特殊要求,本文围绕静压预应力管桩施工技术的应用展开探讨。首先分析了静压预应力管桩的核心特性、施工原理及住宅项目的专项要求,之后,梳理了“前期准备-试桩-施工-验收”全流程技术要点,并重点分析了挤土效应、桩身断裂、接桩缺陷等关键问题的应对策略,旨在确保静压预应力管桩满足住宅建筑的承载力与沉降控制要求,同时实现低噪音、小空间施工,为住宅建筑地基工程高质量建设提供技术支撑。

[关键词] 静压预应力管桩;住宅建筑;技术流程;承载力检测

引言

住宅建筑作为民生工程,其地基质量直接决定建筑结构安全与居住舒适度。传统桩基施工技术(如锤击桩)存在振动强、噪音大等问题,很难适配住宅项目密集楼栋、周边居民区环绕的环境需求。静压预应力管桩以其高承载力(桩身混凝土强度 $\geq C80$)、低噪音(昼间 $\leq 55\text{dB}$ 、夜间 $\leq 45\text{dB}$),以及空间适配性强(小型桩机机身宽度 $\leq 3.5\text{m}$)等优势,成为住宅建筑地基处理的优选方案。然而,住宅项目施工中易受地质条件复杂、场地狭窄、挤土效应等因素影响,导致桩身倾斜、承载力不达标等问题。本文结合住宅建筑特性,从理论、流程、问题应对三方面展开探讨。

1. 核心概念与理论概述

1.1 静压预应力管桩技术原理

静压预应力管桩由桩身、桩尖、接头三部分组成,其中桩身采用高强度预应力混凝土管桩,常见型号为PHC-500AB、PHC-600AB,桩尖根据地质条件选用十字型(适配黏性土)或开口型(适配砂土层),接头则通过法兰连接或焊接连接实现桩身拼接。

静压施工通过液压系统向桩身施加垂直压力,克服桩侧摩阻力与桩端阻力,将管桩压入设计持力层,其核心受力机制在于利用桩机自重与液压顶力的协同作用,实现管桩平稳入土。施工过程中会产生挤土效应,即管桩压入时排挤周边土体,导致土体隆起或水平位移,需结合住宅项目场地条件(如楼栋间距、地下管线分布)控制影响范围,避免对周边建筑基础或地下设施造成破坏^[1]。沉降控制方面,基于分层总和法计算住宅建筑后期沉降,通过优化管桩入土深度(确

保桩端进入持力层 $\geq 1\text{m}$)与桩距(通常为桩径的3-5倍),使高层住宅后期沉降量 $\leq 150\text{mm}$ 、多层住宅 $\leq 100\text{mm}$,符合《混凝土结构设计规范》对住宅沉降的限值要求。

1.2 住宅建筑对静压管桩的特殊要求

住宅建筑对静压管桩环境兼容性、空间适配性与质量稳定性的要求如下:环境兼容性方面,施工噪音需符合《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523),即昼间 $\leq 55\text{dB}$ 、夜间 $\leq 45\text{dB}$,避免影响居民日常生活;空间适配性上,住宅项目普遍存在楼栋密集、施工场地狭窄(部分场地宽度 $\leq 10\text{m}$)的特点,需选用小型化静压桩机,机身宽度 $\leq 3.5\text{m}$,确保桩机在楼栋间灵活移动;质量稳定性方面,管桩施工完成后需满足单桩竖向抗压承载力特征值 \geq 设计值,桩身垂直度偏差 $\leq 1\%$,桩顶标高偏差 $\leq \pm 50\text{mm}$,保障后续基础承台施工的准确性^[2]。

2. 住宅建筑工程静压预应力管桩施工技术流程

2.1 施工前期准备

在开始施工前,需通过地质勘察、设备选型、管桩检验构建基础保障体系。地质勘察需查明场地土层分布(分层厚度、承载力特征值)、地下水位(埋深、水质腐蚀性)及地下障碍物(管线、孤石),绘制地质剖面图,确定管桩设计持力层(如圆砾层、中风化岩层),并根据土层承载力预估桩长与压桩力(如圆砾层中PHC-500AB管桩预估桩长28-30m、压桩力2800-3000kN)。设备选型需匹配管桩型号,PHC-500AB管桩适配600t级静压桩机,PHC-600AB管桩适配800t级静压桩机,同时检查桩机液压系统压力稳定性(波动范围 $\leq \pm 5\%$)、夹持机构平整度(偏差 $\leq 1\text{mm}$);辅助设备选用精度 $\leq 2\text{mm}$ 的

全站仪进行定位放线，精度 $\leq 1\text{mm}$ 的水准仪控制标高，焊接设备采用电流调节范围 100-300A 的直流弧焊机，确保接头焊接质量^[3]。管桩进场检验需开展外观检查（桩身无裂缝、露筋，桩端平整，接头法兰面无变形）与性能检测（按批次抽检管桩抗弯性能、抗裂性能，每批次抽检比例 $\geq 3\%$ ），存储时堆放层数 ≤ 3 层，底层垫木间距 $\leq 1.5\text{m}$ ，避免桩身受力变形。

2.2 试桩施工与参数确定

试桩施工旨在验证管桩承载力是否达标、确定合理压桩力与桩长、优化施工工艺参数，是验证技术可行性与确定施

工参数的关键环节。试桩需布置在场地代表性区域，数量 ≥ 3 根，位置避开主楼核心区，避免影响后续主体结构施工。试桩流程为测量放线→桩机就位→压桩→终止压桩→承载力检测（静载试验），其中终止压桩标准为“双控”：一是压桩力达到设计值，二是桩端进入设计持力层 $\geq 1\text{m}$ 。试桩过程中需记录地质类型、试桩数量、设计与实际压桩力、桩端与桩侧阻力、设计与实际桩长及承载力检测结果，具体参数对比如表 1 所示：

表 1 住宅建筑静压预应力管桩试桩参数对比表

地质类型	试桩数量 (根)	设计压桩力 (kN)	实际压桩力 (kN)	桩端阻力 (kPa)	桩侧摩阻力 (kPa)	设计桩长 (m)	实际桩长 (m)	承载力检测结果
粉质黏土+圆砾层	3	2800	2750-2850	3200	55-65	28	27.5-28.5	达标
淤泥质土+中风化岩层	3	3200	3100-3300	4500	30-40	32	31.8-32.2	达标
素填土+中砂层	3	2500	2400-2600	2800	45-55	25	24.8-25.2	达标

如表 1 所示，通过不同地质条件下的试桩参数对比，可直观验证管桩承载力达标情况及实际施工参数与设计参数的偏差范围，为后续大规模施工提供数据支撑。

2.3 施工技术要点

施工过程中，需严格把控精度与参数，确保施工质量。在测量放线与定位环节，应根据住宅建筑基础平面图，用全站仪放出桩位中心点，钉设定位桩，单桩定位偏差 $\leq 5\text{mm}$ ；每放完 5 根桩进行一次整体复核，确保单桩桩位偏差 $\leq 100\text{mm}$ 、群桩桩位偏差 $\leq 150\text{mm}$ ，避免桩位偏移影响基础承台尺寸。桩机就位与调平时，桩机行驶至桩位，夹持机构中心对准定位桩，偏差 $\leq 20\text{mm}$ ；通过水平仪调整机身水平，纵横向倾斜度 $\leq 0.1\%$ ，防止压桩过程中桩身倾斜^[4]。压桩施工控制需优化压桩顺序，采用跳打法（间隔 1-2 根桩）或从中间向四周施工，减少挤土效应对周边桩的影响；压桩速度控制在 1-2m/min，软土区可适当加快（1.5-2m/min），硬土层需减缓（1-1.5m/min），避免速度过快导致桩身受力不均；实时记录压桩力，当压桩力达到设计值且桩端进入持力层 $\geq 1\text{m}$ 时，停止压桩。接桩施工中，焊接接桩需清理桩端法兰面铁锈，采用双人对称焊接，先焊周圈再分层焊接，焊缝高度 $\geq 10\text{mm}$ ，焊接完成后自然冷却 $\geq 8\text{min}$ 方可继续压桩；机械接桩需对准桩身中轴线，用扭矩扳手拧紧连接螺栓，扭矩 $\geq 300\text{N}\cdot\text{m}$ ，螺栓拧紧后涂抹厚度 $\geq 80\mu\text{m}$ 的环氧富锌漆防锈。送桩与标高

控制时，选用钢制送桩器，长度根据桩顶设计标高确定，避免送桩器过长导致桩身弯曲；用水准仪实时监测桩顶标高，偏差 $\leq \pm 50\text{mm}$ ，确保桩顶嵌入基础承台深度 $\geq 100\text{mm}$ ，符合设计要求。

2.4 施工后验收

施工后验收包括外观验收、承载力检测与资料验收三部分。外观验收需检查桩顶平整性（无裂缝、破损）、接头焊缝饱满度（无漏焊、咬边），确保桩身无明显质量缺陷。承载力检测采用静载试验检测单桩竖向抗压承载力，抽检数量 \geq 总桩数的 1%且 ≥ 3 根；采用低应变法检测桩身完整性，抽检数量 \geq 总桩数的 20%，确保桩身无断桩、空洞等内部缺陷^[5]。资料验收需整理施工记录（压桩力、桩长、标高实时记录）、检测报告（静载试验、低应变检测报告）、材料合格证（管桩、焊条、预应力筋合格证），形成完整验收资料，确保施工过程可追溯、质量可验证。

3. 施工关键技术问题与应对策略

3.1 挤土效应引发的周边影响

挤土效应表现为管桩密集施工导致周边地面隆起（最大隆起量可达 50mm）、地下管线变形（如给水管线位移 $\geq 10\text{mm}$ ），严重时会影响周边住宅建筑基础稳定性，是静压管桩施工中的常见问题。

为避免上述问题的出现，需从施工顺序、挤土释放、实

时监测三方面入手：施工顺序优化采用“从中间向四周”“隔排跳打”的方式，避免土体连续挤压，减少隆起量；挤土释放措施可在场地周边设置宽 300mm、深 1.5m 的排水盲沟，或布置间距 1.0m、深度至软土层底部的塑料排水板，加速土体排水固结，降低土体孔隙水压力；实时监测需在周边建筑物、管线上布设沉降观测点，每 2 小时观测一次，当位移超 5mm 时暂停施工，调整压桩速度（减缓至 1m/min 以下）或增加跳打间隔，待位移稳定后再继续施工^[6]。

3.2 桩身断裂与倾斜

桩身断裂与倾斜多源于桩机就位不平整（倾斜度 > 0.1%）、压桩速度过快（>2m/min）、遇到地下孤石（直径 > 300mm）等方面因素，断裂常发生在桩身中部或接头处，倾斜则表现为桩身垂直度偏差 > 1%。

对于上述问题，应针对性采取以下应对策略：桩机调平需在施工前用水平仪反复校准机身，纵横向倾斜度确保 ≤ 0.1%，并在压桩过程中实时监测，发现倾斜及时调整；压桩速度需根据地质条件动态调整，软土区控制在 1.5-2m/min，硬土层 1-1.5m/min，当压桩力突变（增幅 > 20%）时立即暂停，排查是否存在孤石或土层变化，待问题解决后再继续压桩；地下孤石处理需在施工前采用地质雷达探测场地，发现孤石后采用人工挖孔清除（孔径 ≥ 800mm，深度至孤石底部），避免孤石阻挡导致桩身受力不均。

3.3 接桩质量缺陷

接桩质量缺陷主要表现为焊接接桩焊缝不饱满（高度 < 10mm）、机械接桩螺栓松动（扭矩 < 300N·m），致使接头承载力不足，影响了管桩的整体受力性能。

对此，应强化过程控制：焊接质量控制采用双人对称焊接，焊缝完成后用焊缝量规检查高度与宽度，每根接头抽检 3 处，确保焊缝高度 ≥ 10mm、宽度 ≥ 15mm；机械接桩需使用扭矩扳手拧紧螺栓，逐根记录扭矩值，确保扭矩 ≥ 300N·m，螺栓拧紧后涂抹环氧富锌漆防锈；接头检测对焊接接头采用渗透检测（PT），抽检比例 ≥ 10%，检测焊缝内部是否存在气孔、裂纹等缺陷，对不合格接头需返工重焊或重新拧紧螺栓，直至检测合格。

3.4 桩端达不到设计标高

桩端达不到设计标高与地质勘察偏差（持力层埋深比设计深 > 2m）、压桩力不足（桩机额定压力 < 设计压桩力）等方

面因素有关，导致管桩无法压入设计持力层，影响了桩端承载力。

对于上述问题的处理，需分情况对待：补充勘察当压桩力达到桩机额定压力 80% 仍未达设计标高时，采用孔径 100mm 的钻孔勘察复核持力层埋深，明确是否存在勘察偏差；设备升级可更换更大吨位桩机（如将 600t 级换为 800t 级），或采用“复压”工艺（停压 30min 后再次施压，利用土体蠕变增加桩端入土深度）；设计调整需经设计单位确认，根据实际地质情况增加桩长（1-2m）或变更持力层（选择下一层承载力更高的土层），确保桩端进入持力层深度符合要求，承载力达标。

结束语：

总之，静压预应力管桩以其低噪音、空间适配性强、高承载力的优势，在住宅建筑地基工程中具有显著应用价值。本文通过梳理核心理论、施工流程及问题应对策略，明确了从前期勘察到后期验收的全流程技术要点，可有效保障施工质量。在实践中，应严格遵循技术规范、动态调整施工参数、强化过程监测，确保静压预应力管桩技术优势的充分发挥，满足住宅建筑对地基质量的要求。未来可进一步探索智能化技术的融合应用，如采用无线传感监测压桩力与桩身垂直度，实现施工过程的实时管控，为住宅建筑地基工程的高质量发展提供更先进的技术支撑。

[参考文献]

- [1] 蒋德烽. 探讨建筑工程施工中静压预应力管桩施工技术[J]. 中国住宅设施, 2024, (12): 152-154.
- [2] 黄雪峰. 静压预应力管桩施工的常见问题及防治措施[J]. 低碳世界, 2023, 13 (10): 127-129.
- [3] 罗森林, 陈先军, 魏世辉. 预应力高强混凝土静压管桩在建筑工程中应用分析[J]. 九江学院学报 (自然科学版), 2022, 37 (04): 27-30.
- [4] 冯伟. 静压预应力管桩施工技术在地基处理中的应用[J]. 四川水泥, 2022, (11): 197-199.
- [5] 许东阳. 软地质条件下静压预应力管桩断桩原因及处理研究[J]. 住宅产业, 2021, (12): 78-81.
- [6] 陈育民. 静压预应力管桩的特点与施工技术探讨[J]. 砖瓦, 2021, (09): 188-190.